Цена 7 коп.

ОБЩЕСТВО "ЗНАНИЕ" УССР
Киевский Дом научно-технической пропаганды

Заочный семинар

НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Киев - 1969

Общество "Знание" УССР

Киевский Дом научно-технической пропаганды

Бригаде ШУМа — мой неоценимый вклад в науку 30.4.1969. [illegible]

Заочный семинар

Надежность механических систем

В.М.ГОЛУБ,

В.И.ЦАРИКОВСКИЙ

ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ – ОСНОВА ИХ НАДЕЖНОСТИ

НАДЕЖНОСТЬ ПЛАСТМАССОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

К и е в – I 9 6 9

БФ 02078, 11.2.69. , заказ 117 , тираж 430 ,
объем 1,25 Цена 7 коп.
КДНТП, Киев, ул.Владимирская, 56.

В.М.Голуб

ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ – ОСНОВА ИХ НАДЕЖНОСТИ

Одним из главных факторов, определяющих надежность большинства машин, является прочность.

Стремление избежать отказов при эксплуатации, использование упрощенных методов расчета приводит иногда к принятию весьма высоких коэффициентов запаса прочности, что влечет за собой перетяжеление конструкции, нерациональное ресходование конструкционных материалов.

Стоимость изделий часто пытаются снизить, применяя более дешевые (и, как правило, менее прочные) материалы, избегая таких технологических процессов, как поверхностное упрочнение, антокоррозийное покрытие, термообработка и т.п., что приводит к снижению надежности и к увеличению стоимости эксплуатации изделия.

Между тем, оптимальное конструирование деталей и узлов, правильное составление технологического процесса и грамотная эксплуатация позволяют существенно повысить долговечность и надежность изделий даже при некоторой экономии в весе.

Краткому освещению некоторых инженерных путей повышения прочности деталей машин и связанных с ней вопросов и посвящена настоящая лекция.

I. Статическая прочность и вес конструкции

Снижение веса деталей дает не только экономию материала. Грамотное уменьшение размеров деталей приводит к снижению напряжений от их собственного веса, уменьшению влияния масштабного фактора, улучшению условий теплоотвода, упрощению изготовления деталей.

Уменьшение веса подвижных деталей приводит к уменьшению износа трущихся поверхностей, снижению инерционных сил, уменьшению ударов в конце хода и вызываемых ими вибраций.

Отсюда очевидна необходимость конструировать детали равного сопротивления (если это не противоречит требованиям жесткости), выбирать сечения с наиболее выгодным расположением материала (двутавр при изгибе в одной плоскости, труба при кручении и т.п.), применять материалы с высокой удельной прочностью.

Широкое распространение быстродействующей вычислительной техники позволяет приближать расчетные схемы к истинной картине распределения внешних нагрузок и условий опирания, учитывать деформации и взаимовлияние деталей под нагрузкой и снижать коэффициенты запаса прочности.

При обеспечении статической прочности машины не всегда следует ориентироваться на пиковые нагрузки, которые могут

Материал подготовлен Киевским Домом
научно-технической пропаганды

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор А.М.Григорьев

Редактор Т.П.Хоменко
Корректор Л.А.Хитровская

катать роликом или другим предметом и не трогать до полной полимеризации.

Наиболее пригодным для ремонта - эпоксидные смолы. Ремонт производится в любых условиях. Единственным требованием является отсутствие влаги и желательное обеспечение температуры не ниже 10-15°С. Простота ремонта конструкций - одно из определяющих достоинств при разработке стеклопластиковых изделий и обеспечении их высокой надежности и долговечности.

Ряд приведенных примеров показал, что, несмотря на недостаточную полноту наших знаний о свойствах пластических масс, имеются реальные возможности обеспечения высокой надежности и долговечности не только мелких деталей, но и крупногабаритных конструкций машин за счет использования специфических свойств материалов.

Дальнейшее исследование пластических масс, накопление опыта испытаний и эксплуатации конструкций будут способствовать более широкому внедрению новых материалов, обеспечивающих легкость, экономичность и надежность конструкций.

быть вызваны неправильной эксплуатацией. В конструкции могут быть предусмотрены предохранительные муфты, клапаны, кожухи и т.п.; остановленный механизм необходимо затормозить или застопорить, при стоянке на открытом воздухе машины с большой парусностью следует швартовать.

Правильный выбор коэффициента запаса прочности при расчете по допускаемым напряжениям (или коэффициента безопасности - при расчете по разрушающим нагрузкам) с учетом вероятности возникновения максимальной перегрузки, ответственности узла, характера действия нагрузки (динамичность), возможности осмотра в эксплуатации, уровня производства и других факторов, влияющих на прочность деталей или на условия их нагружения, позволяет создавать легкие и в то же время надежные конструкции.

Особое место среди указанных факторов занимают температурные воздействия. При увеличении температуры ухудшаются механические свойства материалов; тепловое расширение отдельных элементов приводит к температурным напряжениям (как за счет температурного градиента, так и за счет отличия в коэффициентах линейного расширения у различных материалов).

Длительное воздействие на конструкцию высоких температур и внешней нагрузки может приводить к ползучести материалов. Температурные напряжения могут приводить к потере устойчивости отдельных элементов конструкции и к изменению

жесткости конструкции. При этом конструкция может деформироваться от температурных напряжений без внешней нагрузки.

Обеспечение необходимой прочности в условиях нагрева связано с увеличением веса конструкции. В ряде случаев, с весовой точки зрения, целесообразно принимать меры по снижению нагрева конструкции (применять тепловую изоляцию или охлаждение) или предусматривать температурные компенсаторы, позволяющие основным элементам конструкции свободно деформироваться.

В настоящее время в качестве конструкционных материалов стали широко применяться различные типы пластмасс. Этому способствуют такие их физико-механические свойства, как сравнительно высокая удельная прочность, высокая податливость, способствующая перераспределению напряжений по мере нагружения, хорошая прирабатываемость, высокая вязкость, хорошие антифрикционные свойства и т.д. К наиболее существенным особенностям пластмасс, накладывающим отпечаток на конструирование и расчет деталей из пластмасс, следует отнести их анизотропность, малую жесткость, склонность к ползучести (даже при нормальной температуре) и старению, набухание деталей в водяной и масляной среде.

2. Усталостная прочность

Статистика показывает, что 80-90% всех поломок деталей машин происходит из-за усталости материала деталей, кото-

5. Внешний вид

Большая роль при создании машин придается эстетике. Декоративная окраска конструкций лакокрасочными материалами не дает возможности длительно сохранить требуемое качество поверхности. Лакокрасочные покрытия, являясь веществами иного состава и обладая иным коэффициентом линейного расширения, чем материал конструкции, при эксплуатации трескаются, отслаиваются и разрушаются.

Применение пластических масс и синтетических смол, хорошо совмещающихся с красителями, позволяет изготавливать конструкции, окрашенные в процессе производства в разнообразные цвета. Внешний вид этих конструкций соответствует требованиям, а долговечность равна сроку службы самих изделий.

6. Простота ремонта конструкций

Возможности ремонта конструкций в случае их повреждения всегда интересуют создателей машин. Всем известно, что для ремонта металлических изделий часто необходим определенный набор инструментов, электроэнергия, сжатый воздух, демонтаж изделия с машины. Стеклопластиковые изделия в этом отношении очень неприхотливы. Любую трещину, пробоину, царапину можно легко устранить путем наложения заплат из стекломатериалов на выбранных для этой цели синтетических смолах. После наложения заплат место дефекта необходимо об-

Высокие качества конструкции бункера из стеклопластика позволяют улучшить качество работы всей машины, уменьшить ее простои и повысить производительность.

4. Антифрикционные и гидрофобные свойства материалов

Коэффициент трения различных сред о металлы достаточно велик и это иногда затрудняет нормальную работу машин. Так, из стальных бункеров сельскохозяйственных машин значительно затруднено высыпание химических веществ, сыпучие химикаты налипают на стенки, уплотняются и зависают в бункере.

Лыжи аэросаней и других машин, эксплуатирующихся в полярных условиях, примерзают на стоянке к снегу и для их страгивания с места необходимы большие усилия, которые могут повредить конструкцию.

Описанные явления устраняются при выполнении поверхностей скольжения из полиэтилена или фторопласта. Тонкослойные пластмассовые покрытия позволяют снизить коэффициент трения сред по конструкции в 2-3 раза, а их гидрофобные свойства исключают налипание и схватывание рабочих сред со стенками конструкции.

В результате ресурс металлических бункеров возрастает в 5 раз и более, причем исключается их механическая очистка и упрощается эксплуатация всей машины. Для аэросаней значительно снижается усилие страгивания и уменьшаются затраты мощности, необходимые для движения или скольжении по снегу.

рая может быть вызвана как циклическим нагружением, так и циклическим изменением температуры.

Особенность усталостного разрушения состоит в том, что оно происходит под действием высоких местных напряжений при довольно низких номинальных (средних) напряжениях, получаемых из академического расчета, опирающегося на довольно простую расчетную схему и обычно не учитывающего наличия концентратов напряжения в конструкции и множества других факторов, влияющих на усталостную прочность.

Кроме концентратов напряжения, к этим факторам относятся размеры детали (масштабный фактор), фид деформации, величина и знак внутренних напряжений, режим и частота нагружения, температурные условия, окружающая среда, термохимическая обработка, химический состав материала, величина зерна, металлургические факторы, фактор времени, наличие поверхностного наклепа, состояние поверхности. Процесс возникновения и развития усталостных трещин идет более интенсивно при наличии различных поверхностных повреждений на деталях (царапины, риски, забоины, инородные включения, очаги коррозии и т.д.) и в условиях активной окружающей среды.

Для создания конструкции, безопасной с точки зрения усталости, и для установления гарантийного срока службы и периодичности осмотров конструкции исследование условий развития усталостных трещин имеет важное значени. Опыт по-

казывает, что интенсивность распространения трещин тем больше, чем выше общий уровень напряжений и чем выше прочность материала.

Усталостная прочность зависит от сочетания свойств поверхностного слоя и основного металла детали. Основные технологические способы повышения усталостной прочности деталей связаны с получением остаточных напряжений. Поскольку предел усталости (выносливости) металла зависит от коэффициента асимметрии цикла $r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ (предел усталости при симметричном цикле в большинстве случаев выше, чем при асимметричном цикле с растягивающим средним напряжением $\sigma_0 = \frac{\sigma_{min} + \sigma_{max}}{2}$, но ниже, чем при асимметричном цикле со сжимающим средним напряжением), вполне обоснованным является стремление получить на поверхности детали, при ее изготовлении, сжимающие остаточные напряжения.

Это достигается при помощи технологических процессов, приводящих к образованию наклепа на поверхности детали (дробеструйная, пневмодинамическая, пескоструйная обработка, чеканка, гидрополирование, обкатка роликами, накатка резьбы и т.п.). Выбор режима механической обработки также имеет большое значение. В отличие от обычного и силового резания скоростное резание приводит к образованию на обрабатываемой поверхности остаточных напряжений сжатия. Следует иметь в виду, что в случае работы при достаточно высокой температуре поверхностное упрочнение снимается. Обыч-

Если сравнить результаты испытаний стали, алюминия и стеклопластиков в ядохимикатах и удобрениях, применяемых в сельском хозяйстве (бордосской жидкости, селитре, суперфосфате, полихлорпинене и др.), то можно отметить, что алюминий относительно легко поддается разрушению; из сталей наиболее устойчива только нержавеющая сталь, в то время как стеклотекстолит на основе эпоксидных смол наиболее прочен и при непрерывном контакте с наиболее агрессивными ядохимикатами в течение года теряет лишь 20-40% первоначальной прочности. Плакирование стеклотекстолита тонкими слоями термопластов значительно уменьшает и это падение прочности.

Химическая стойкость стеклопластиков позволяет изготавливать надежные конструкции со значительно большим ресурсом.

Так, бункеры сельскохозяйственных машин из листовой нержавеющей стали толщиной 0,8 мм служат до появления дефектов 100 часов, в то же время монолитные емкости из стеклопластика, изготавливаемые сейчас взамен металлических, эксплуатируются без дефектов уже свыше 1000 часов и их общий ресурс должен быть в 3-4 и более раз выше, чем металлических. Продлению ресурса способствует не только химическая стойкость стеклопластика, но и вибрационная стойкость, гладкость внутренней рабочей поверхности, минимальная адгезия к химикатам и отсутствие необходимости дополнительной механической очистки стенок.

При изготовлении деталей машин из стеклопластика конструктору можно проектировать монолитные конструкции практически без стыков, отверстий и элементов крепежа. Равнопрочность конструкций обеспечивается путем подбора необходимых толщин материалов и расположения волокон армирующего стеклонаполнителя в соответствии с направлением нагрузок.

Стеклопластиковые конструкции, созданные указанными методами, вследствие их монолитности, обладают значительно меньшим весом, достаточной прочностью, жесткостью, вибрационной и коррозионной стойкостью, повышенной герметичностью, и, как следствие, высокой надежностью.

Примером надежных монолитных конструкций могут служить корпуса автомобилей, шлюпок и кораблей, емкости химической аппаратуры. За рубежом созданы даже самолеты, у которых крылья и фюзеляж выполнены в виде монолитных агрегатов.

3. Химическая стойкость конструкций

В настоящее время практически нецелесообразно создавать машины, работающие в контакте с агрессивными средствами без применения пластических масс, так как их химическая стойкость значительно превосходит стойкость металлов - сталей и алюминия. Задача создания крупногабаритных конструкций, работающих с агрессивными средствами, также привела к необходимости применения высокопрочных армированных пластмасс - **стеклопластиков.**

но наклеп приводит к упрочнению металла, однако в случае "перенаклепа" происходит расзрыхление, отслаивание и шелушение поверхности металла, появляются трещины.

На усталостную прочность большое влияние оказывает фактическая эпюра распределения напряжений по сечению детали и их градиент. Последнее обстоятельство сильно зависит от наличия концентратов напряжений. Вблизи концентратора напряжения нарастают весьма интенсивно, максимальное значение напряжения может превышать среднее в несколько раз, что и приводит при циклическом нагружении к образованию в данном месте усталостной трещины.

Различают силовые (в местах действия контактных внешних сил) и геометрические концентраторы напряжений.

В районе силовых концентраторов напряжений при повторном нагружении могут возникнуть усталостные повреждения в виде шелушения и отслаивания поверхностного слоя. Эти явления могут быть устранены или ослаблены путем поверхностного упрочнения контактирующих деталей. Весьма важно при этом правильно подобрать толщину упрочняющего слоя и вязкость ядра детали.

Геометрические концентраторы напряжений в свою очередь можно разделить на три группы: концентраторы конструктивного, технологического и эксплуатационного происхождения.

К концентраторам конструктивного происхождения относятся различные отверстия, пазы, канавки, шлицы, резьба, ма-

лые радиусы переходов, галтели, проточки, подрезы на границах механической обработки, резкие изменения сечения детали, предусмотренные конструктором в чертежах клеймо, маркировка, кернение, нарушающие поверхностный слой деталей.

К концентраторам технологического (производственного) происхождения относятся дефекты материала, шероховатость, следы механической обработки на поверхности деталей, разметочные риски, остаточные напряжения и трещины, возникающие при сварке, клепке, механической обработке и сборке, забоины, вмятины, царапины, нарушения упрочняющих и антикоррозийных покрытий, вызванные низкой культурой производства.

При небрежной эксплуатации также могут возникнуть забоины, вмятины, царапины, являющиеся концентраторами напряжений.

Чем выше прочность и ниже пластические свойства материала, тем сильнее влияние концентраторов. Пластичные материалы обладают способностью сглаживать неблагоприятные для усталостной прочности пики напряжений у концентратора.

С понижением частоты нагружения выносливость деталей также понижается.

В коррозионной среде влияние частоты нагружения на усталостную прочность усиливается, поскольку в этом случае решающее значение приобретает фактор времени.

Указанная технология является очень экономичной. Например, бункер для химических веществ, объемом 1400 л. с оболочкой из листовой нержавеющей стали, подкрепленной приваренным металлическим каркасом, имеет трудоемкость производства порядка 600 нормо-часов. В то же время стеклопластиковый бункер большого объема, состоящий из монолитной оболочки и крышки, имеет трудоемкость производства 250-300 нормо-часов. Это соотношение трудоемкости характерно для большинства крупногабаритных металлических и пластмассовых конструкций. Причем с повышением уровня механизации изготовления стеклопластиковых конструкций и широкого внедрения методов напыления, намотки, насасывания, пропитки под давлением, а также повышения качества материалов и снижения их токсичности, разница в соотношениях трудоемкости будет постоянно увеличиваться.

2. Монолитность конструкций

Проектируя машину из металла, конструктор ограничен конкретной номенклатурой полуфабрикатов в виде листов, профилей, труб и отдельных деталей. Все эти элементы он увязывает в конструкцию, как правило, с помощью множества деталей крепежа - болтов, винтов, заклепок и пр. При этом прочность детали понижается из-за большого количества отверстий. Однако такие конструкции достаточно надежны и служат десятки лет.

тельными отходами материала. При этом габариты деталей ограничиваются размерами рабочей зоны оборудования.

В процессе определения размеров и изготовления стеклопластиковых конструкций на первое место выходит не оборудование, а форма, по которой выполняются конструкции. На эту форму механизированным или ручным способом наносят, с минимальными потерями, необходимое количество армирующего материала, пропитанного синтетической смолой. Форма выполняется по внутреннему или наружному контуру изделий и может иметь любую сложную конфигурацию в пределах целесообразного. После отверждения материала готовую деталь снимают с формы и подвергают окончательной обработке.

Дополнительное оборудование определяется уровнем требований к конструкции детали.

Для точной выдержки толщины стенок и выполнения точных размеров обеих поверхностей изделий применяют пресс-формы (пуансоны и матрицы). Для повышения прочности и теплостойкости изделия вместе с формами помещают в термопечи и проводят полимеризация по заданному режиму. Термообработка также сокращает срок полимеризации материала.

Однако почти во всех случаях оборудование участников для производства изделий из армированных пластмасс самых сложных конфигураций ограничивается установками для приготовления смол, формами и термопечами.

Значительная доля повреждений деталей современных машин происходит из-за напряжений, возникающих при их колебаниях (вибрациях), возбуждаемых различными периодическими (например от работающего двигателя) или внезапно приложенным (при ударах, автоколебаниях и т.п.) силами, действующими как самостоятельно, так и в сочетании с другими силовыми факторами.

В некоторых случаях вибрационная нагрузка сама по себе может служить причиной разрушения, особенно при возникновении резонанса. Повреждения, вызываемые акустическими вибрациями, могут быть определяющими для прочности тонких обшивок, расположенных в зоне шума высокого уровня (например, в зоне работы мощного двигателя).

Применение различных демпфирующих устройств и использования материалов с хорошими усталостными характеристиками - вот пути для уменьшения колебательных деформаций и их вредного влияния.

Предварительное приложение статической нагрузки большой величины (до 0,75 $\sigma_в$) оказывает существенное влияние на выносливость элементов конструкции: при пульсирующем цикле предварительная статистическая нагрузка того же знака ("тренировка") вызывает повышение выносливости конструкции, нагрузка обратного знака - снижение.

Более известна тренировка при нагрузках ниже предела выносливости (обкатка), также повышающая выносливость конструкции.

Таким образом, борьбу за повышение усталостной прочности (а следовательно, и надежности) деталей машин следует вести на всех этапах (конструирование, производство, эксплуатация) по двум основным направлениям:

I/ улучшение условий работы механизмов (облегчение режимов нагружения деталей, защита от влияния внешней среды и небрежного обращения);

2/ разработка конструктивных и технологических мероприятий по повышению усталостной прочности машин.

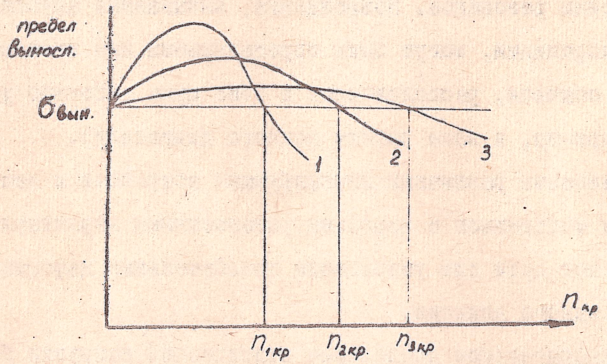

Рис.

$\sigma_{вын}$ – предел выносливости материала, не подвергающегося перегрузке/тренировке/;

$n_{кр}$ – критическая длительность перегрузки, еще не вызывающая снижения предела выносливости;

I – перегрузка 30 % ;
2 – –"– 20 % ;
3 – –"– I0 % ;

В.И.Цариковский

НАДЕЖНОСТЬ ПЛАСТМАССОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Как уже отмечалось ранее, в машиностроении все шире начинают применяться различные типы пластмасс в качестве конструкционных материалов. Хотя мы пока что не располагаем знанием всех характеристик пластмасс. Однако уже сейчас, благодаря целому ряду специфических свойств этих новых материалов, можно гарантировать пластмассовым конструкциям большую надежность и долговечность, чем металлическим при работе в особых условиях (агрессивные среды, морская вода, трение и пр.).

Наиболее пригодным для создания крупногабаритных конструкций являются армированные пластмассы и в первую очередь стеклопластики. Они способны воспринимать большие механические нагрузки. Их средняя прочность на растяжение и изгиб (25-50 кг.мм^2) вполне сравнима с прочностью сталей и алюминия.

I. Экономичность изготовления конструкций из пластмасс

Процесс изготовления стеклопластиковых конструкций значительно отличается от изготовления металлических. Металлические детали изготавливаются, как правило, на большом количестве разнообразного оборудования с довольно значи-

атационных испытаний с учетом статистической информации об отказах эксплуатирующихся изделий, может быть дана окончательная оценка прочности и установлен гарантийный срок надежной работы современной машины.

Таким образом, для обеспечения прочности изделия необходимо учитывать все факторы, влияющие на его состояние и работоспособность, в их взаимосвязи, выделяя в каждом конкретном случае главные, ведущие.

3. Некоторые рекомендации по конструированию и изготовлению деталей машин

Удачный подбор материалов, термохимическая обработка, подача смазки в местах приложения сосредоточенных нагрузок могут существенно уменьшить вредное влияние контактных напряжений на выносливость и износ конструкции. При расчете конструкции на прочность следует иметь в виду изменение механических свойств поверхности контактирующих деталей в процессе износа и изменение условий нагружения некоторых деталей из-за появившихся в процессе износа зазоров и люфтов.

Ненужные зазоры могут получиться еще до эксплуатации изделия как результат накопления допустимых отклонений размеров деталей при неправильно выбранной размерной цепочке. По той же причине не оговоренные в чертеже толщины стенок, донышек, величины перемычек могут оказаться существенно меньше номинальных размеров. Для нагруженных деталей в этих случаях (если размерная цепочка не может быть изменена) целесообразно оговаривать минимальные толщины (перемычки), чтобы привлечь внимание изготовителей и контролера к данному размеру.

Иногда в конструкции предусматривают некоторую свободу относительного перемещения сопрягаемых деталей, чтобы избежать заклинивания механизмов и возникновения дополни-

тельных напряжений (применение самоустанавливающихся подшипников в опорах валов, создание температурных компенсаторов, членение рулевых поверхностей самолета, чтобы исключить нагружение этих поверхностей от деформаций крыла и оперения и т.д.).

Характер нагружения деталей может быть изменен предварительной затяжкой болтов (во избежание перетяжки в чертежах следует оговаривать величину усилия или момента затяжки); с той же целью вместо толстостенного цилиндра, испытывающего действие внутреннего давления, можно применить два цилиндра, соединенные посадкой с натягом.

Весьма важно исключить возможность возникновения не учитываемых в расчетах на прочность монтажных (сборочных) напряжений. Это достигается правильным выбором размерной цепочки и жесткой системы допусков. Иногда более выгодна в производственном отношении "мягкая" система допусков в комплексе со специальными компенсаторами, устанавливаемыми по месту.

При конструктировании практически невозможно полностью избежать концентраторов напряжений в нагруженных деталях, однако всегда следует сводить их количество и влияние к минимуму.

В чертежах деталей, изготавливаемых из поковок, необходимо указывать направление волокон (волокна должны быть ориентированы вдоль основного силового потока), анизотропность материала следует учитывать в расчете.

Целью частотных (вибрационных) испытаний является выявление характера и типа колебаний с определением причин их возникновения, определение собственных частот колебаний отдельных деталей или агрегатов, оценка допустимости колебаний с точки зрения усталостной прочности, разработка рекомендаций по уменьшению колебаний (отстройка от резонансных состояний, изменение режима работы, демпфирование колебаний).

При серийном выпуске изделий для проверки соответствия серийного изделия "эталонному", опытному, образцу рекомендуется проводить периодические испытания (статические, усталостные, динамические) изделий серийного производства.

Чем сложнее и разнообразнее факторы, влияющие на прочность и надежность детали или машины, тем труднее воспроизвести их в процессе испытаний, почти всегда отличающихся некоторой идеализацией. Например, динамическая нагрузка обычно заменяется "соответствующей" статической, сопутствующие работе изделия вибрации и коррозионная среда часто не воспроизводятся, поставленный на усталостные испытания опытный экземпляр изделия может существенно (в мелочах) отличаться от серийного и т.п.

В целом испытания являются основным предварительным этапом проверки прочности сложного изделия. Только на основании специального комплекса эксплуатационных испытаний и сравнительного анализа результатов лабораторных и эксплу-

контроля прочности конструкции (при действии пиковых нагрузок) и доведения прочности до необходимого уровня, прямой проверкой расчета по разрушающим нагрузкам. Результаты статических испытаний часто служат основанием для усиления или облегчения конструкции. При статических испытаниях могут быть определены напряжения в различных точках конструкции и ее жесткость.

С целью выявления фактических запасов прочности проводится статическое испытание конструкции до разрушения.

Усталостные испытания проводятся с целью уточнения первоначально принятого гарантийного срока службы и выявления слабых с точки зрения усталости мест в конструкции. Программа усталостных испытаний составляется на основании статистических и эксплуатационных (полученных, например, на изделиях-лидерах) данных о величине и повторяемости нагрузок, о наличии и характере сопутствующих им вибраций или колебаний.

Усталостные испытания позволяют определить скорость распространения трещин и установить соответствующую периодичность осмотров конструкции.

Для быстрейшего выявления ненадежных элементов иногда проводятся ускоренные испытания. Такие испытания нежелательны в тех случаях, когда на усталостную прочность изделия или узла влияют факторы, действие которых зависит от времени (старение, ползучесть, коррозия, радиация и т.п.).

В ответственных деталях, подвергающихся повторному нагружению, следует предусматривать создание остаточных поверхностных сжимающих напряжений в процессе изготовления. Это может быть достигнуто как при помощи наклепа, так и при поверхностной закалке или при некоторых видах термохимической обработки (азотирование, цементация, цианирование).

Во избежание коррозии следует проанализировать возможные внешние условия работы машины, грамотно подобрать пары сопрягаемых материалов, сорт смазки, вид антикоррозийного покрытия или выполняющей его роль термохимической обработки, а в случае необходимости (например, при отсутствии доступа для смазки) подобрать нержавеющие материалы. Остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое также повышают коррозийную стойкость материала.

При сварке замкнутых полостей следует предусмотреть отверстие для выхода сварочных газов, которые могут послужить причиной коррозии; отверстие в случае необходимости заваривается в последнюю очередь.

Надежность изделий сильно зависит и от технологии их изготовления.

Прежде всего, технолог должен обеспечить получение достаточно чистого и однородного металла нужной марки. С этой целью иногда применяется регулирование процесса рекристаллизации, плавка и разливка в вакууме. Несоблюдение темпе-

ратурных режимов при литье, штамповке, термохимической обработке, неправильный выбор места для облоя, чрезмерное содержание вредных примесей могут привести к получению некондиционного материала с трещинами, раковинами, рыхлотами, расслоениями и т.п., с нестабильными даже в пределах одной детали механическими свойствами, с повышенной склонностью к усталостному разрушению и коррозии (в том числе интеркристаллитной) и т.д.

Знак поверхностных остаточных напряжений зависит от выбранного режима работы.

Вредные технологические остаточные напряжения могут быть уменьшены или даже сведены к нулю, например, за счет обеспечения зазора нужной величины между свариваемыми деталями, правильного выбора места крепления свариваемых деталей в приспособлении, положения длинных и тонких деталей в закалочной печи, последовательности выполнения заклепочных швов. Во избежание появления трещин клепку хрупких материалов следует производить на прессах.

При разработке технологического процесса следует иметь в виду, что некоторые технологические операции могут свести на нет пользу, полученную от предшествующей операции. Например, термообработка накатанной резьбы снимает наклеп с ее витков; при установке деталей с натягом и при клеймении может быть нарушен и защитный слой; при окончательной механической обработке часто срезается цементи-

рованный или закаленный слой. В последнем случае необходимо увязывать глубину закаленного (цементированного) слоя с величиной припуска на механическую обработку или переходить к таким видам термохимической обработки, которые не требуют окончательной механической обработки (азотирование, борирование, изотермическая закалка).

4. Прочностные испытания

Целью прочностных испытаний является исследование условий нагружения конструкции и ее несущей способности. Различают испытания эксплуатационные и лабораторные, статические, динамические, усталостные (в том числе ускоренные), вибрационные (частотные), тепловые, испытания отдельных образцов и натурные.

В процессе натурных эксплуатационных испытаний уточняется величина и повторяемость принятых при проектировании нагрузок. Для ускорения этих испытаний из числа поступающих в эксплуатацию изделий выделяют так называемую лидерную группу. Изделия этой группы должны иметь максимальную наработку (по сравнению с изделиями основного парка) и эксплуатироваться в наиболее трудных условиях. Это позволяет выявить наиболее слабые места в конструкции и произвести усиление изделий основного парка.

Исследование несущей способности изделия начинается со статических испытаний, которые являются основным средством